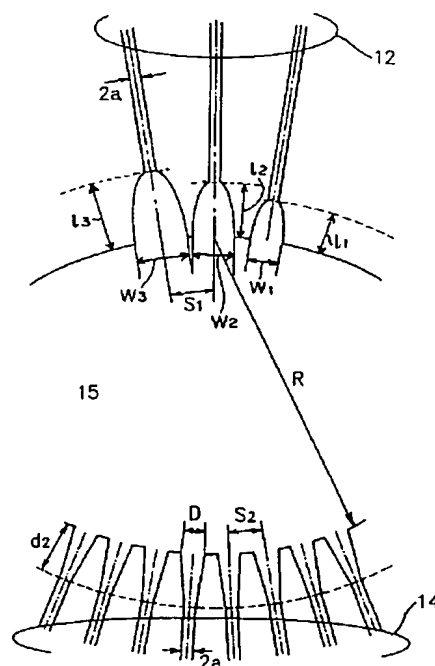


(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)7月31日



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に配置された入力用チャネル導波路と、チャネル導波路アレイと、出力用チャネル導波路と、前記入力用チャネル導波路と前記チャネル導波路アレイとを接続する第1の扇型スラブ導波路と、前記チャネル導波路アレイと前記出力用チャネル導波路とを接続する第2の扇型スラブ導波路とを具備し、前記チャネル導波路アレイの長さが所定の導波路長さで順次長くなるように構成されたアレイ導波路格子において、前記第1の扇型スラブ導波路との境界近傍における前記入力用チャネル導波路の各入力導波路のコアがバラボラ形状に広がっており、かつ隣合う該バラボラ形状の入力導波路のコアの幅が各々異なって形成されていることを特徴とするフラット帯域特性アレイ導波路格子。

【請求項2】 前記入力用チャネル導波路の各入力導波路のコアのバラボラ形状が、

【数1】

$$y = \frac{1}{A_i} (a^2 - x^2)$$

(ただし、 A_i は各々のバラボラ形状を指定するパラメータ、 a はコア幅の $1/2$ 、 x はコア開口幅の方向の位置、 y はコアの軸線方向の位置) なる式で決められることを特徴とする請求項1に記載のフラット帯域特性アレイ導波路格子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、フラットな光周波数帯域特性を有するアレイ導波路型光合分波器を実現できるフラット帯域特性アレイ導波路格子に関する。

【0002】

【従来の技術】 図1は従来のアレイ導波路格子の一例を示す。このアレイ導波路格子は、基板1上に配置された入力用チャネル導波路2、チャネル導波路アレイ4、出力用チャネル導波路3、上記入力用チャネル導波路2とチャネル導波路アレイ4とを接続する第1の扇型スラブ導波路5、および上記チャネル導波路アレイ4と出力用チャネル導波路3とを接続する第2の扇型スラブ導波路6を具え、上記チャネル導波路アレイ4の長さが所定の導波路長さ ΔL で順次長くなるように構成されている。

【0003】 このような従来のアレイ導波路格子においては、図2の上記第1扇型スラブ導波路5の近傍の拡大図に示すように、第1扇型スラブ導波路5との境界において入力用チャネル導波路2およびチャネル導波路アレイ4の各導波路のコアが直線状に広がるテーパ形状の導波路(テーパ導波路とも称する)で接続されていた。また同様に、図3の第2扇型スラブ導波路6の近傍の拡大図に示すように、第2扇型スラブ導波路6との境界において出力用チャネル導波路3およびチャネル導波路アレイ4の各導波路のコアが直線状に広がるテーパ形状

の導波路で第2扇型スラブ導波路6と接続されていた。

【0004】 なお、図2および図3において、 R は第1、第2の扇型スラブ導波路5、6の曲率半径、 U は入力用、出力用チャネル導波路2、3のテーパ形状のコア開口幅、 S_i は入力用、出力用チャネル導波路2、3の間隔、 d_i は入力用、出力用チャネル導波路2、3のテーパ形状の導波路の長さ、 D はチャネル導波路アレイ4のテーパ形状の導波路のコア開口幅、 $2a$ はチャネル導波路部分のコア幅、 S_4 はチャネル導波路アレイ4の各導波路の間隔、および d_4 はチャネル導波路アレイ4のテーパ形状の導波路の長さである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このような従来のアレイ導波路格子の周波数特性は、図4に示すように、各導波路の中心光周波数(図4の場合は200GHz間隔、波長に換算すると0.0016 μm)の近傍で放物線状の損失特性となり、1dB周波数帯域幅は $B_{1dB} = 35$ (GHz)程度である。

【0006】 このように、上述した従来の構造のアレイ導波路格子では、放物線状の損失特性を有するので、レーザ光源の波長(光周波数)が温度変化等で各信号チャネル(導波路)の中心波長(中心光周波数)から変動した場合には、損失が大幅に増加してしまうという解決すべき課題があった。

【0007】 本発明の目的は、上述のような従来技術の課題を解決するため、フラットな帯域特性の周波数幅を変えることができ、システムの要求条件に合わせてフラットな帯域特性の周波数幅を選択できるフラット帯域特性アレイ導波路格子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明は、基板上に配置された入力用チャネル導波路と、チャネル導波路アレイと、出力用チャネル導波路と、前記入力用チャネル導波路と前記チャネル導波路アレイとを接続する第1の扇型スラブ導波路と、前記チャネル導波路アレイと前記出力用チャネル導波路とを接続する第2の扇型スラブ導波路とを具備し、前記チャネル導波路アレイの長さが所定の導波路長さで順次長くなるように構成されたアレイ導波路格子において、前記第1の扇型スラブ導波路との境界近傍における前記入力用チャネル導波路の各入力導波路のコアがバラボラ形状に広がっており、かつ隣合う該バラボラ形状の入力導波路のコアの幅が各々異なって形成されていることを特徴とする。

【0009】 ここで、前記入力用チャネル導波路の各入力導波路のコアのバラボラ形状が、

【0010】

【数2】

$$y = \frac{1}{A_i} (a^2 - x^2)$$

【0011】(ただし、 A_i は各々のパラボラ形状を指定するパラメータ、 a はコア幅の1/2、 x はコア開口幅の方向の位置、 y はコアの軸線方向の位置)なる式で決められるとすることができる。

【0012】本発明では、上記のように、第1扇型スラブ導波路と入力用チャネル導波路アレイとの境界近傍において各入力導波路のコア幅がパラボラ形状をなしていることにより、第2の扇型スラブ導波路と出力用チャネル導波路との境界においてフラットな電界分布をもつ光分布を形成する。このために光源の周波数に変化しても分波出力特性はほぼ一定となるようなフラットな帯域特性を有するアレイ導波路格子を実現できる。さらに、隣合うパラボラ形状の入力導波路コアの幅が各々異なっていることにより、各々異なる入力導波路に光が入力された場合に第2の扇型スラブ導波路と出力用チャネル導波路との境界において形成されるフラットな電界分布の幅が各々異なる。

【0013】従って、本発明では、入力導波路を選ぶことによりフラットな帯域特性の周波数幅を変えることができ、システムの要求条件に合わせてフラットな帯域特性の周波数幅を選択できる。また、これにより、大容量・長距離光通信および波長分割ルーティング等に適した光分波器を提供することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0015】図5は、本発明のフラット帯域特性アレイ導波路格子の実施の形態の一例として、ここではアレイ導波路型光合分波器を示す。この光合分波器では、入力用チャネル導波路12、出力用チャネル導波路13、チャネル導波路アレイ14、上記入力用チャネル導波路12とチャネル導波路アレイ14とを接続する第1の扇*

$$y = \frac{1}{A_i} (a^2 - x^2)$$

【0021】いま、図5の構成において、入力用チャネル導波路12の一つのポートに光周波数 f (波長 $\lambda = c/f$; 但し、 c は光速)の信号光が入射した場合を考える。この入射された光は、図6に示すパラボラ状の領域を通過する際に平行ビーム状の光分布をなし、第1扇型スラブ導波路15との境界においては、図8に示すような空間的にフラットな電界分布を生じる。コア幅 $2a = 7 \mu m$ 、コア厚(コアの厚み) $2t = 7 \mu m$ 、屈折率差 $\Delta = 0.75\%$ の光導波路の場合に、図8に示すようなフラット光分布を得るための構造パラメータは、 $A_1 = 1.0$ 、 $l_1 = 250 \mu m$ 、 $A_2 = 1.1$ 、 $l_2 = 300 \mu m$ 、 $A_3 = 1.2$ 、 $l_3 = 350 \mu m$ である。

【0022】このようにして得られたフラットな分布を

* 型スラブ導波路15、および上記チャネル導波路アレイ14と出力用チャネル導波路13とを接続する第2の扇型スラブ導波路16が基板11上に形成されている。チャネル導波路アレイ14はその長さが所定の導波路長差 ΔL で順次長くなるように構成されている。

【0016】図6は、本発明の特徴を示す上記第1の扇型スラブ導波路15の近傍の拡大図である。図6に示すように、第1の扇型スラブ導波路15の境界近傍における入力用チャネル導波路12の各コアは、隣接コアのコア幅が各々異なるパラボラ形状になっている。一方、第1の扇型スラブ導波路15の境界近傍におけるチャネル導波路アレイ14の各導波路のコアは、従来例と同様に、直線状に広がるテーバ形状になっている。

【0017】図6において、 R は第1の扇型スラブ導波路15の曲率半径であり、 D はチャネル導波路アレイ14のテーバ形状の導波路のコア開口幅であり、 $2a$ はチャネル導波路部分のコア幅、 S_i はチャネル導波路アレイ14の間隔、 d_i はチャネル導波路アレイ14のテーバ長(導波路のテーバ形状部分の長さ)である。

20 【0018】また、 W_i (本実施形態では $i = 1 \sim 3$ としている)は入力用チャネル導波路12のパラボラ形状の各導波路のコア開口幅であり、 S_i は入力用チャネル導波路12の間隔、 l_i (本実施形態では $i = 1 \sim 3$)は入力用チャネル導波路12の各パラボラ(各導波路のパラボラ形状部分)の長さである。

【0019】第1扇型スラブ導波路15との境界近傍における入力用チャネル導波路12の各導波路のコアのボラ形状は、図7の拡大図に示すように、コア開口幅の方向を x とし、コアの軸線方向を y とすると、次式

30 (1)により決められる。(但し、 A_i は各々のパラボラ形状を指定するパラメータであり、 a はコア幅の1/2(コア半幅と称する)である。)

【0020】

【数3】

$$(1) \quad y = \frac{1}{A_i} (a^2 - x^2)$$

もつ光は、さらに第1扇型スラブ導波路15において横方向に広がって進み、チャネル導波路アレイ14の各導波路を励振し、第2の扇型スラブ導波路16において光周波数 f に対応した出力用チャネル導波路13の位置に集光する。

【0023】この時、相反の定理により、第2の扇型スラブ導波路16と出力用チャネル導波路13との境界における光分布も、上述の図8に示す分布と同じような、図9に示すようなフラットな光分布となる。

【0024】図10は、図5の第2の扇型スラブ導波路16の近傍の拡大図である。第2の扇型スラブ導波路16の境界近傍における出力用チャネル導波路13およびチャネル導波路アレイ14の各導波路のコアは、従来例

と同様に、直線状に広がるテーパ形状になっている。ここで、 R は第2の扇型スラブ導波路16の曲率半径であり、 D はチャネル導波路アレイ14のテーパ形状の導波路のコア開口幅であり、 $2a$ はチャネル導波路部分のコア幅、 S_2 はチャネル導波路アレイ14の間隔、 d_2 はチャネル導波路アレイ14のテーパ長である。また、 U は出力用チャネル導波路13のテーパ形状の導波路のコア開口幅（総て同一の幅）であり、 S_1 は出力用チャネル導波路13の間隔、 d_1 は出力用チャネル導波路13のテーパ長である。

【0025】出力用チャネル導波路13の導波路のコア開口幅 U は、図9に示すフラットな光分布の幅に比べて数分の1になるように設計されているので、光源の光周波数 f が多少変化しても出力用チャネル導波路13へ結合する光の量はほぼ一定となる。すなわち、光源の周波数 f が多少変化しても分波出力がほぼ一定となるようなフラット周波数帯域特性が実現される。

【0026】また、図9に示すように、異なるバラボラの幅 W_i （本実施の形態では $i=1\sim3$ ）からの光分布の幅は各々異なるので、分波出力がほぼ一定となる周波数幅は入力用チャネル導波路を選ぶことによって変えることができる。

【0027】

【実施例】更に、図面を参照して、本発明の一実施例を詳細に説明する。

【0028】図5～図10を用いて説明した本発明のアレイ導波路格子に関し、以下のようなパラメータを用いてマスクを作製した。即ち、 $2a=7\mu\text{m}$ 、 $R=11.3\text{mm}$ 、 $\Delta L=63\mu\text{m}$ 、 $S_2=25\mu\text{m}$ 、 $D=20\mu\text{m}$ 、 $d_2=2\text{mm}$ 、 $S_1=25\mu\text{m}$ 、 $U=10\mu\text{m}$ 、 $A_1=1.0$ 、 $l_1=250\mu\text{m}$ 、 $W_1=32\mu\text{m}$ 、 $A_2=1.1$ 、 $l_2=300\mu\text{m}$ 、 $W_2=37\mu\text{m}$ 、 $A_3=1.2$ 、 $l_3=350\mu\text{m}$ 、 $W_3=42\mu\text{m}$ である。

【0029】このようにして作製したマスクにより石英系光導波路を用いて本実施形態のフラット帯域特性アレイ導波路格子を作製した。

【0030】まず、 Si 基板11上に火炎堆積法によって SiO_2 下部クラッド層を堆積し、次に GeO_2 をドーパントとして添加した SiO_2 ガラスのコア層を堆積した後に、電気炉で透明ガラス化した。次に、上記設計に基づく図5、図6、図10に示すようなパターンを用いてコア層をエッチングして光導波路部分を作製した。最後に、再び SiO_2 上部クラッド層を堆積した。

【0031】このようにして作製したフラット帯域特性アレイ導波路格子の光周波数特性の測定結果を図11～図13に示す（周波数間隔は 200GHz 、波長に換算すると $0.0016\mu\text{m}$ ）。図11～図13は各々バラボラの幅 $W_1\sim W_3$ の入力用チャネル導波路12に光を入力した場合の周波数特性の測定結果を示す。

【0032】図11に示すように、 $W_1=32\mu\text{m}$ のバ

ラボラ幅の入力用チャネル導波路に光を入力した場合の1dB周波数帯域幅は $B_{1\text{dB}}=116(\text{GHz})$ である。また、図12に示すように、 $W_2=37\mu\text{m}$ のバラボラ幅の入力用チャネル導波路に光を入力した場合の1dB周波数帯域幅は $B_{1\text{dB}}=140(\text{GHz})$ である。また、図13に示すように、 $W_3=42\mu\text{m}$ のバラボラ幅の入力用チャネル導波路に光を入力した場合の1dBの周波数帯域幅は $B_{1\text{dB}}=164(\text{GHz})$ である。図11～図13から、光周波数特性がフラット化されており、かつ各々異なるバラボラの幅 $W_1\sim W_3$ の入力用チャネル導波路に光を入力することにより、異なる帯域幅のフラット周波数特性が得られていることがわかる。

【0033】これによって、従来のアレイ導波路格子（図4）では $35(\text{GHz})$ であった1dB帯域幅が、隣接する信号チャネルのクロストークを劣化することなく大幅に拡大され、かつ各々異なるバラボラの幅の入力用チャネル導波路に光を入力することにより異なる帯域幅のフラット周波数特性が一つのアレイ導波路格子で得られることがわかる。

【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、アレイ導波路格子の第1扇型スラブ導波路と入力用チャネル導波路アレイとの境界近傍において入力用チャネル導波路アレイの各入力導波路のコアがバラボラ形状をなし、かつ隣合うバラボラ形状の入力導波路コアの幅が各々異なっているため、隣接する信号チャネルへのクロストークを劣化させることなく、1dB帯域幅、3dB帯域幅を大幅に増大でき、かつ各々異なるバラボラ幅（バラボラ形状のコアの開口幅）の入力用チャネル導波路に光を入力することにより異なる帯域幅のフラットな光周波数特性が一つのアレイ導波路格子で得られる。

【0035】従って、本発明によれば、レーザ等の光源の波長が温度変化等により各信号チャネルの中心波長から変動した場合でも通過損失が増加しないので、波長分割ルーティングシステム等の設計の許容度が増すという利点を有する。さらに、本発明によれば、入力導波路を選ぶことによりフラットな帯域特性の周波数幅を変えることができ、システムの要求条件に合わせてフラットな帯域特性の周波数幅を一つのアレイ導波路格子で実現できるといふ顕著な効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のアレイ導波路格子の構造の一例を示す斜視図である。

【図2】図1における第1の扇型スラブ導波路5の近傍の拡大図である。

【図3】図1における第2の扇型スラブ導波路6の近傍の拡大図である。

【図4】従来のアレイ導波路格子の周波数特性の測定結果を示すグラフである。

【図5】本発明のフラット帯域特性アレイ導波路格子の

10

20

30

40

50

実施の形態の一例を示す斜視図である。

【図6】図5における第1の扇型スラブ導波路15の近傍の拡大図である。

【図7】図6における入力用チャネル導波路12と第1扇型スラブ導波路15との境界近傍におけるパラボラ形状のコアの1つを拡大して示す図である。

【図8】図6の第1の扇型スラブ導波路15と入力用チャネル導波路12との境界における電界分布を示すグラフである。

【図9】図5の第2の扇型スラブ導波路16と出力用チャネル導波路13との境界における電界分布を示すグラフである。

【図10】図5における第2の扇型スラブ導波路16の近傍の拡大図である。

【図11】図6の本発明のフラット帯域特性アレイ導波路格子において、パラボラの幅 W_1 の入力用チャネル導波路に光を入力した場合の周波数特性の測定結果を示すグラフである。

【図12】図6の本発明のフラット帯域特性アレイ導波路格子において、パラボラの幅 W_2 の入力用チャネル導波路に光を入力した場合の周波数特性の測定結果を示すグラフである。

【図13】図6の本発明のフラット帯域特性アレイ導波路格子において、パラボラの幅 W_3 の入力用チャネル導波路に光を入力した場合の周波数特性の測定結果を示すグラフである。

【符号の説明】

* 1 基板

2 入力用チャネル導波路

3 出力用チャネル導波路

4 チャネル導波路アレイ

5 第1の扇型スラブ導波路

6 第2の扇型スラブ導波路

11 基板

12 入力用チャネル導波路

13 出力用チャネル導波路

14 チャネル導波路アレイ

15 第1の扇型スラブ導波路

16 第2の扇型スラブ導波路

W_i (W_1 、 W_2 、 W_3) 入力用チャネル導波路12のパラボラ形状の各導波路のコア開口幅

l_i (l_1 、 l_2 、 l_3) 入力用チャネル導波路12の各導波路のパラボラ形状部分の長さ

S_i 入力用チャネル導波路12の間隔

$2a$ チャネル導波路部分のコア幅

A_i (A_1 、 A_2 、 A_3) 各々のパラボラ形状を指定するパラメータ

R 第1の扇型スラブ導波路15の曲率半径

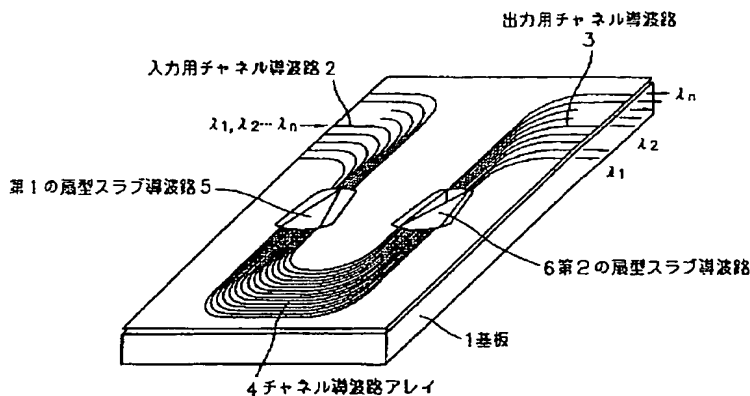
D チャネル導波路アレイ14のテーバ形状の導波路のコア開口幅

S_2 チャネル導波路アレイ14の間隔

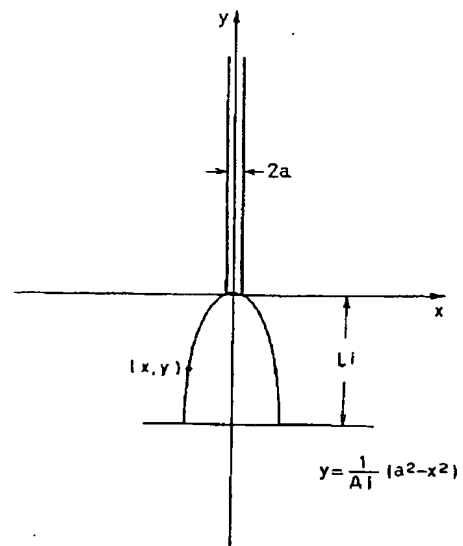
d_2 チャネル導波路アレイ14の導波路のテーバ形状部分の長さ

*

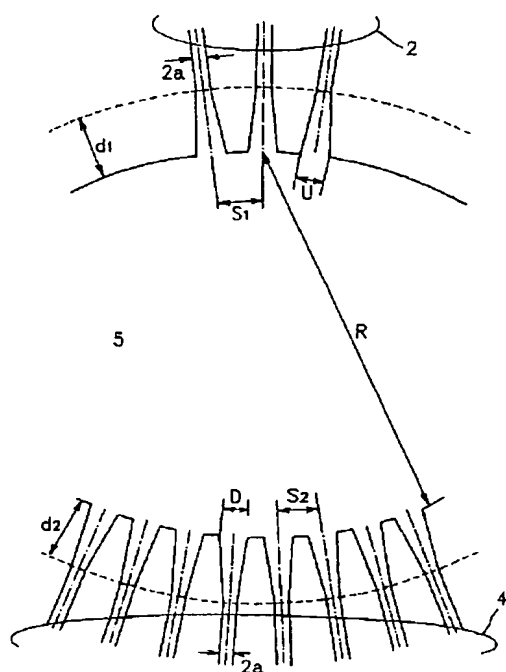
【図1】



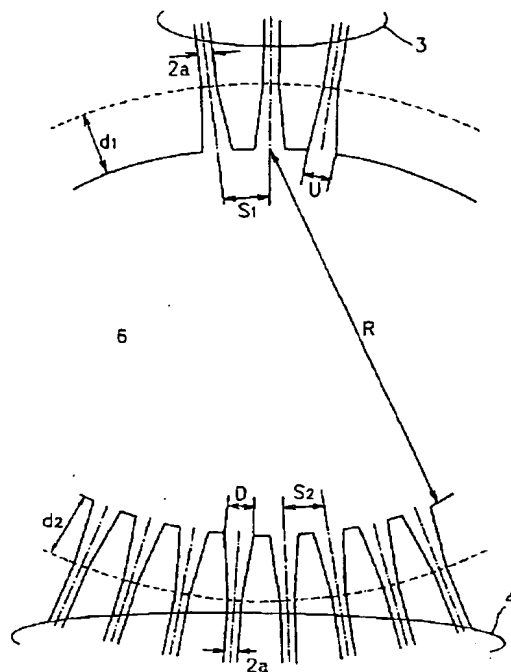
【図7】



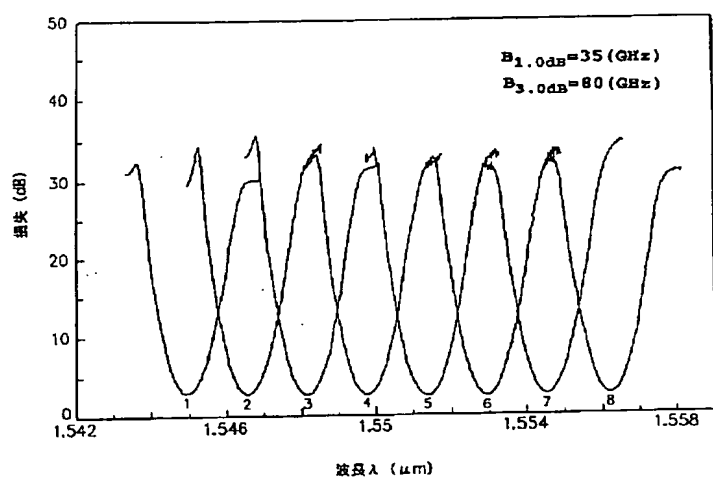
【図2】



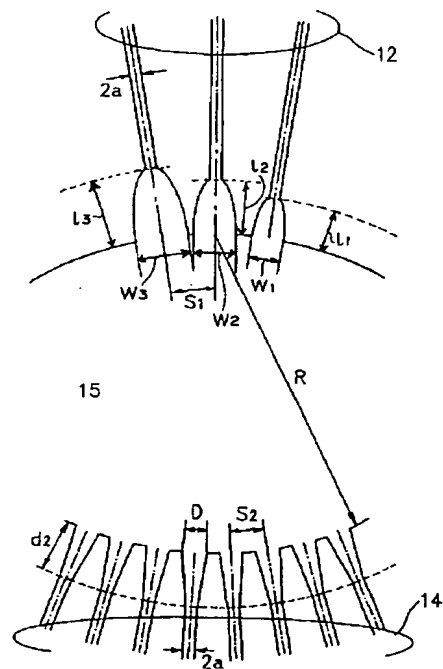
【図3】



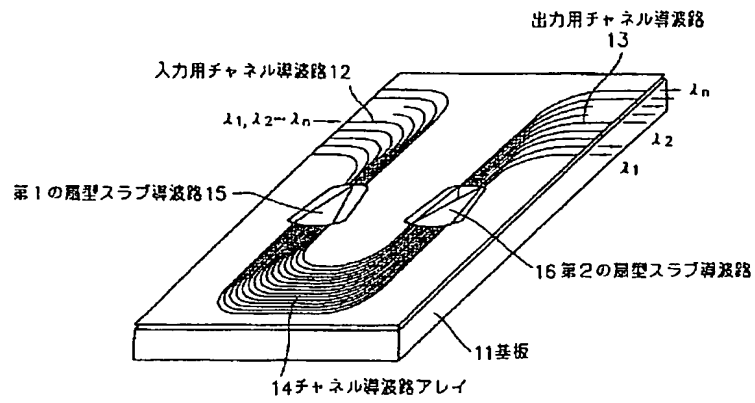
【図4】



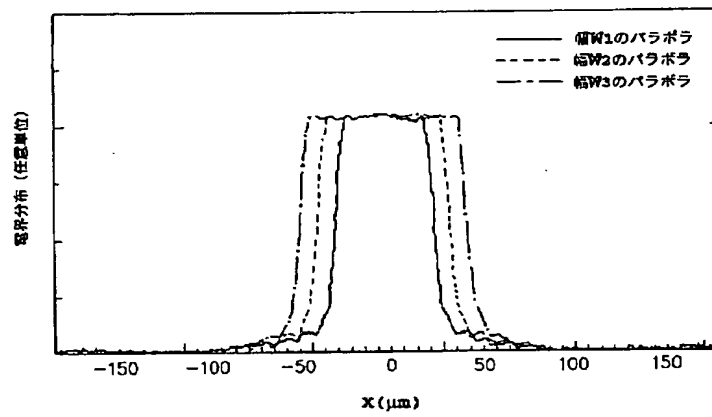
【図6】



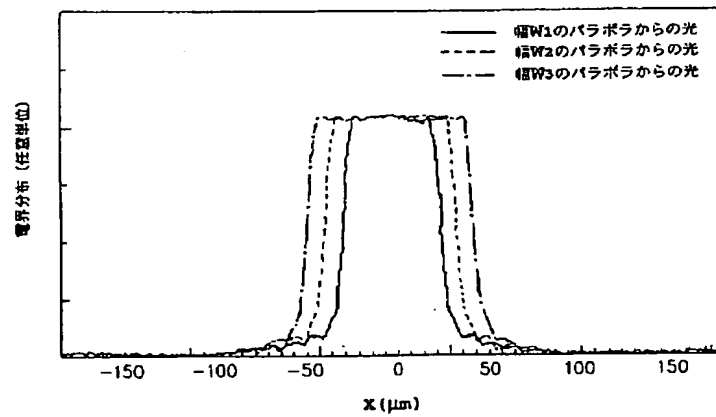
【図5】



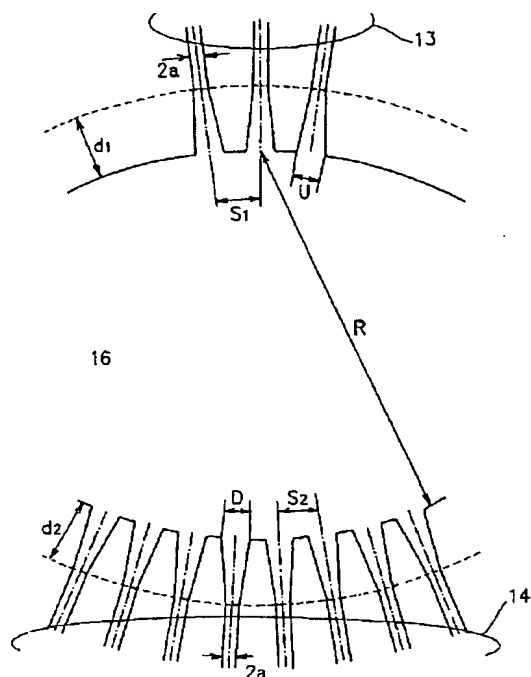
【図8】



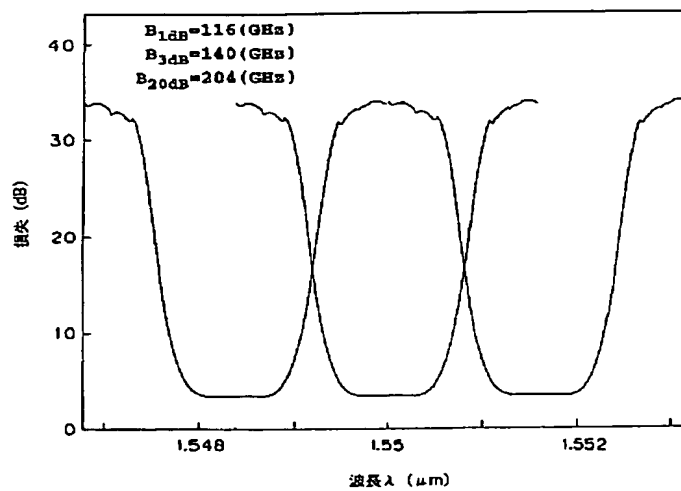
【図9】



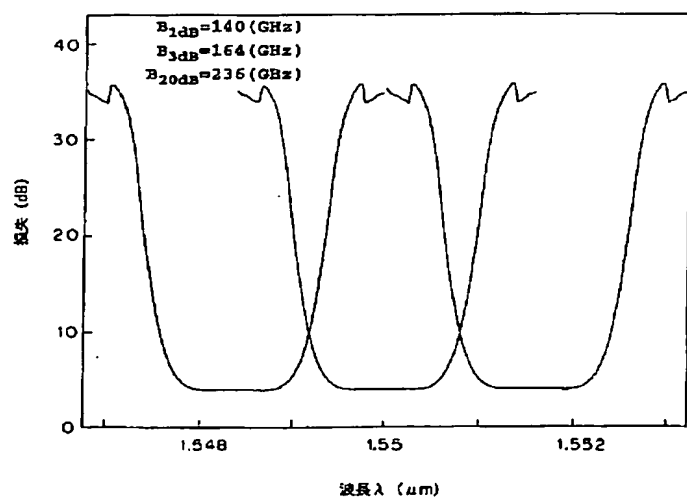
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

